

III науково-технічна конференція “НК в контексті асоційованого членства України в ЄС”
17-19 вересня 2019 року, м. Київ, Україна

ПОБУДОВА БАГАТОПАРАМЕТРОВОЇ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ МЕТАМОДЕЛІ НАКЛАДНИХ ВИХРОСТРУМОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ОБ’ЄМНОЇ СТРУКТУРИ

*Р.В. Трембовецька, В.Я. Гальченко, В.В. Тичков,
Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси*

Вихрострумний неруйнівний метод контролю знаходить широке використання в різноманітних галузях промисловості, оскільки має ряд суттєвих переваг. Разом з тим, до одного із недоліків відносять нерівномірну чутливість вихрострумного перетворювача, що зумовлена неоднорідним розподілом густини струмів Фуко в досліджуваному об’єкті контролю.

В ряді робіт авторами вирішена задача лінійного [1, 2] та нелінійного [2, 3] оптимального параметричного синтезу неспіввісних кругових вихрострумних перетворювачів плоскої структури з однорідною чутливістю в зоні контролю. Наведені в цих роботах приклади мають структуру збудження, що складається із M котушок радіусами r_k ($k = 1 \dots M$), з рівномірним або нерівномірним їх розташуванням (рис.1 а, б), які розташовані на однаковій висоті z_0 над ОК.

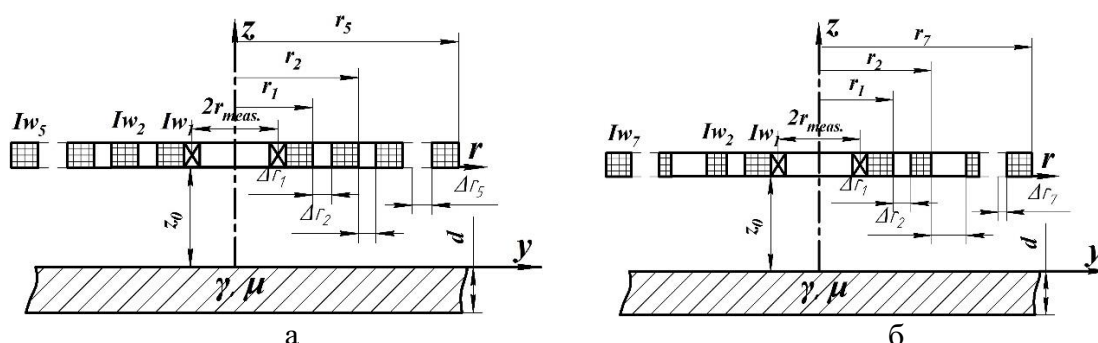


Рис. 1 – Розміщення котушок НВСП плоскої структури в системі збудження:
а) рівномірне $\Delta r = \text{const}$; б) нерівномірне $\Delta r = \text{var}$;

Для цього була створена метамодель нерухомого перетворювача ($v_x = 0$ м/с; $v_y = 0$ м/с) для випадку варіювання трьох змінних $J = f(x, y, r)$ із використанням RBF-нейронних мереж. Застосовані декілька методів підвищення точності нейромережевого рішення [1-3], зокрема архітектура RBF-мережі організована за допомогою комітетів та композитів мереж. Чисельні приклади проілюстрували прийнятну ефективність створених метамodelей, показана їх достатньо висока точність [4] та низька ресурсоємність, що дозволило реалізувати оптимальний сурогатний синтез перетворювачів.

Проте окремих досліджень потребують накладні вихрострумні перетворювачі (НВСП) об’ємної структури [5], за допомогою яких також забезпечується однорідна чутливість перетворювачів в зоні контролю.

Мета роботи: створення багатопараметрової RBF-метамodelі НВСП об’ємної структури при врахуванні зміни чотирьох параметрів $\hat{J} = f(x, y, r, z_0)$, яку можна в подальшому використовувати в задачі оптимального синтезу вихрострумних перетворювачів.

Розглядався модельний приклад побудови метамodelі рухомого НВСП у вигляді ампер-витків, що розташовані на різних висотах над ОК (рис. 2), при наступних вихідних даних: товщина струмопровідного матеріалу ОК $d = 10$ мм; частота струму

збудження $f = 5$ кГц; електрофізичні параметри матеріалу $\sigma = 3,745 \cdot 10^7$ См/м, $\mu_r = 1$. Використовуючи математичну модель для рухомого НВСП [3, 5], виконано побудову метамоделі при варіюванні чотирьох параметрів в межах $x = -45 \dots 45$ мм; $y = 0 \dots 35$ мм; $r = 2 \dots 15$ мм, $z_0 = 2 \dots 5$ мм, $\vec{v} = (40, 0, 0)$ м/с.

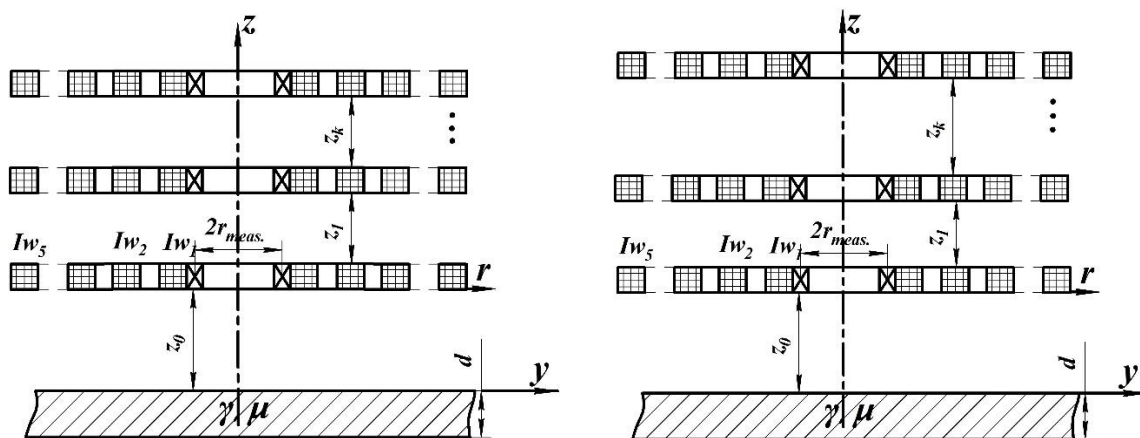


Рис. 2 – Розміщення котушок НВСП об’ємної структури в системі збудження:
а) рівномірне $\Delta r = \text{const}$, $z_l = z_k = \text{const}$; б) нерівномірне $\Delta r = \text{const}$, $z_l \neq z_k$;

Для такого випадку при побудові метамоделі виникає ряд труднощів, наприклад, надзвичайно великий масив даних для процедури навчання та великий розмах значень щільності вихрових струмів для кожного радіусу і надскладна топографія поверхні відгуку (рис. 3).

Усунути деякі з цих складнощів вдається за рахунок декомпозиції простору пошуку як по висоті розташування перетворювача z , так і по радіусу r . Таким чином, в даному випадку в області пошуку виконано декомпозицію на три підобласті по висоті розташування перетворювача над ОК: I_z ($2 \leq z \leq 3$ мм), II_z ($3 < z \leq 4$ мм), III_z ($4 < z \leq 5$ мм); по радіусу витків котушки I_r ($2 \leq r \leq 3$ мм), II_r ($3 < r \leq 5$ мм), III_r ($5 < r \leq 8$ мм), IV_r ($8 < r \leq 10$ мм), V_r ($10 < r \leq 12$ мм), VI_r ($12 < r \leq 15$ мм). За необхідністю виконувалося розбиття простору пошуку по радіусу ще на підобласті – безпосередньо під витками котушки та поза її межами. Для ілюстрації суттєво складної топографії поверхні відгуку на рис. 3 наведено лінії рівня поверхні відгуку для підобластей I_z - V_r , яку необхідно апроксимувати за допомогою RBF-нейронної мережі. Надалі побудова метамоделі виконується за алгоритмом, що запропонований в роботах [1, 3, 4, 6].

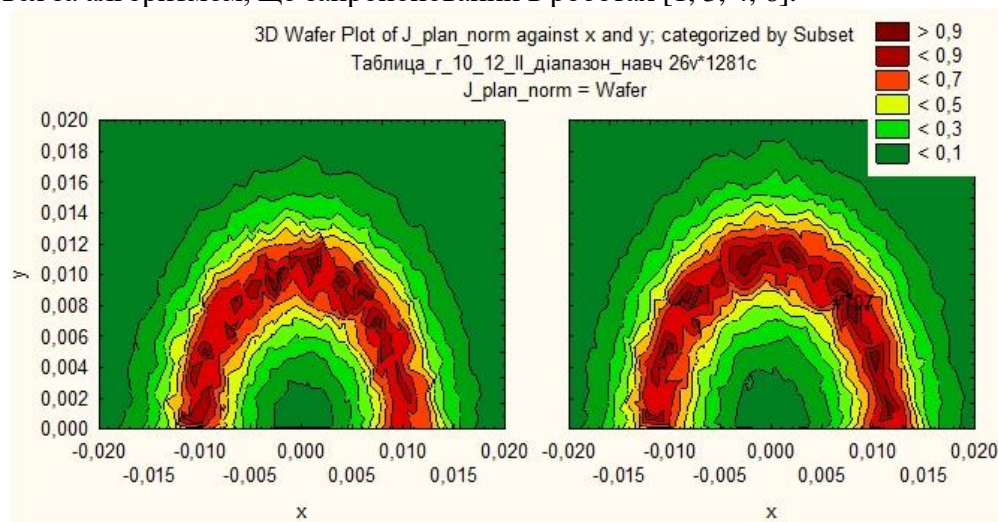


Рис.3 – Лінії рівня поверхні відгуку для піддіапазону I_z - V_r

В утворених підобластях для апроксимації побудовано групи RBF-нейронних мереж з планом чисельного експерименту, що має кількість точок $N_{навч.}$. Найкращі мережі відбиралися за показниками коефіцієнту детермінації R^2 , середньої відносної величини модельної похибки $MAPE, \%$, суми квадратів залишків SS_R . Комітет мереж застосовувався на кожному каскаді композиту із мереж, що мають продуктивності навчальної, тестової та контрольної вибірки більше 90 %. Необхідна кількість каскадів визначається отриманим значенням $MAPE, \%$ і припиняється їх нарощування, коли похибка при додаванні наступного каскаду зменшується до 1 %.

Верифікація метамоделі в цілому виконувалася перевіркою правильності відтворюваності поверхні відгуку у всіх підобластях як по висоті, так і по радіусу. Відновлення поверхні відгуку для рухомого НВСП отримано за допомогою гібриду «композит-комітет» нейромереж на точках, кількість яких значно більша ніж у навчальній вибірці $N_{відтв.} > N_{навч.}$.

Таким чином, створені метамоделі для всіх декомпозиційних підобластей мають задовільне значення $MAPE, \%$ та мінімально можливе за даних умов значення суми квадратів залишків SS_R , що дозволяє використовувати їх при синтезі НВСП об’ємної структури.

Література

1. Гальченко В. Я. Линейный синтез несоосных накладных вихретоковых преобразователей [Текст] / В. Я. Гальченко, Р. В. Трёмбовецкая, В. В. Тычков // *International Journal “NDT Days”*. – 2019. – Vol. 1. (в печати).
2. Трёмбовецька Р. В. Оптимальний сурогатний параметричний синтез накладних кругових неспіввісних вихрострумових перетворювачів із рівномірною чутливістю в зоні контролю [Текст] / Р. В. Трёмбовецька, В. Я. Гальченко, В. В. Тычков // *Вісник Херсонського національного технічного університету*. – 2019. – № 3. (друк).
3. Halchenko V. Ya. Nonlinear surrogate synthesis of the surface circular eddy current probes / V. Ya. Halchenko, R. V. Trembovetska, V. V. Tychkov, A. V. Storchak // *Przegląd elektrotechniczny*. – 2019. - № 9. – P. 76-82. (in press).
4. Трёмбовецька Р. В. Оцінка точності нейромережевих метамоделей кругових накладних вихрострумових перетворювачів [Текст] / Р. В. Трёмбовецька, В. Я. Гальченко, В. В. Тычков, А. В. Сторчак // *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. – 2019. – № 2. (друк).
5. Halchenko V. Ya. Development of excitation structure RBF-metamodels of moving concentric eddy current probe / V. Ya. Halchenko, R. V. Trembovetska, V. V. Tychkov // *Electrical engineering & electromechanics*. - 2019. - № 2. - P. 28-38.
6. Гальченко В. Я. Застосування нейрокомп’ютинга на етапі побудови метамоделей в процесі оптимального сурогатного синтезу антен [Текст] / В. Я. Гальченко, Р. В. Трёмбовецька, В. В. Тычков // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. – 2018. – № 74. – С. 60-72.